実践報告

空気圧応用回路トレーニングシステムの開発

九州職業能力開発大学校附属川内職業能力開発大学校　機械システム系　**石川　幸広**

要旨　空気圧システムに関する教育が、各種教育機関や企業において実施されている。教育内容としては、実学一体にてシステム体系の基本を理解させ、「実際に何をどういう条件で動かすか」や「圧縮空気は危険なものである」等の技術者および技能者が生産現場で必要となる応用的内容の教育を座学中心で実施しているのが現状である。そこで、シリンダの動作結果を予測するとともに、検証装置における動作結果をパソコン画面にて、視覚的に表示（数値・波形等）し、“理論と実際”を比較・検証しながら、応用的内容を実学一体でトレーニングすることができるシステムを開発し、教育サイクルを確立した。開発したシステムは、当短期大学校において活用され、設計・改善・安全・省エネルギに関する応用的内容の教育に効果を発揮している。本報では、開発したシステムの概要と詳細および教育効果を中心に報告する。

1．はじめに

圧縮空気をエネルギ源とした空気圧システムは，イニシャルコストが安く，機器の構造が簡単でありながら，高速・高出力を得られる等の多くの長所があり，全産業界といってよいほどの広範囲で利用・活用されている。今後も各企業の生産にかかわる自動化・省力化等の課題を解決する手段として，空気圧システムが更に有効利用される可能性は高い[1)]。しかし，使い方を誤ると，空気圧システムの信頼性に大きく影響を及ぼす失敗を招きやすい。そこで，生産現場において空気圧システムを設計・運用するに当たり，空気圧機器は取り扱いが容易で保守も簡単であるが，圧縮性流体である空気を媒体として動作させているので，残圧による暴走の危険，負荷変動によるアクチュエータの速度変化，位置制御の難しさ等を的確に理解をしたうえで，利用・活用する必要がある[2)]。

このことから，各種教育機関や企業において，空気圧システムに関する教育が実施されている。その際，トレーニングキットを活用し，実学一体で教育を実施するケースが多いが，これまでのキットは基礎教育用であり[3)～6)]，応用的内容は，座学中心の教育となっているのが現状である。このような現状を踏まえ，技術者および技能者が生産現場で必要となる応用的内容を実学一体でトレーニングをすることができるシステムを開発（教育サイクルの確立含）し，専門課程における活用を通して，教育効果の検証を行ったので報告する。

2．システム概要

2.1　基本仕様

空気圧システムの長所（高速動作が可能・保守点検が簡単等）および短所（精密な速度調整や停止位置の制御が困難等）の多様な検証ができることや設置スペースおよび価格等を検討し，基本仕様を決定した。

本システムの基本仕様を表１に示す。

2.2　システム構成

本システムは，空気圧機器部，計測機器部，シーケンス制御部およびパソコン（コマンド入力およびモニタリング機能等）で構成している。

システム構成図を図１に，外観を図２に示す。

パソコン画面からの指令により，位置検出センサとエンコーダを搭載したブレーキ付シリンダが動作

表１　基本仕様

動作距離	300mm
動作速度	1500mm/s
送り方式	空気圧方式
空気圧力	0.55MPa（550kPa）
負荷重量	200N
分解能	0.4mm
全長	1500mm×800mm×1100mm（ベーステーブル含）
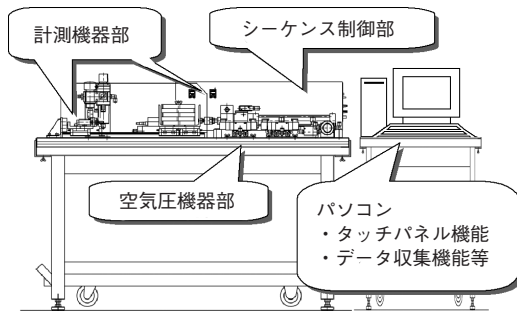
図１　システム構成図
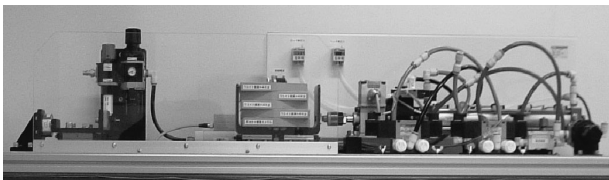
図２　システム外観（検証装置）パソコンは除く

し，シリンダ内の状況（圧力・流量変動）および動作結果をパソコン画面にて，視覚的に表示（数値・波形等）することができる。

このような“可視化”により，空気圧システムを設計・運用するに当たり，必要となる応用的な知識および技能（安全衛生含）を効率的に教育することができる。

主に，次の教育をすることができる。

① 回路構成の違いによるシリンダの中間停止精度の特徴や使い分けおよび調整方法等

② シリンダ動作速度と負荷率および運動エネルギの関係，ショックアブソーバの選定および効果等

③ 合成有効断面積や負荷率等から求められるシリンダ動作速度や動作時間の計算式の考え方，計算値と計測値のバラツキ要因等

④ 圧力設定や負荷率の違い等によるシリンダ内の状況と動作速度および動作時間の関係

⑤ エアコストの算出方法

３．システム詳細

３.１　空気圧機器・計測機器

３.１.１　構成

本システムの空気圧機器と計測機器は，安全性，汎用性，仕様変更への柔軟性，機器の着脱および視覚表示の容易性等を考慮した機器で構成している。

次に，主な機器の概要説明と外観を図３，図４，図５，図６，図７に示す。

１）ブレーキ付シリンダ

シリンダの動作時間や動作距離等を計測するために，位置検出センサとエンコーダを搭載している[7)8)]。

２）電磁弁

シリンダを動作させるために使用する[9)]。学習内容に応じて，各種電磁弁を着脱する。

３）ショックアブソーバ

シリンダの推力エネルギ等を吸収し，検証装置の長寿命化と騒音防止等のために使用する[8)]。学習内容に応じて各種ショックアブソーバを着脱する。

４）ロードセル

機械的な微小変化量であるひずみを電気信号として検出し[11)12)]，ショックアブソーバによるエネルギの衝撃吸収効果を計測する。

５）流量計

空気圧システム内の流量状況をパソコン画面で視覚表示するために，アナログ出力形式を持つとともに，デジタル表示できる[10)]。

６）圧力計

空気圧システム内の圧力状況をパソコン画面で視覚表示するために，アナログ出力形式を持つとともに，デジタル表示できる[10)]。

３.１.２　空気圧回路図

本システムの空気圧回路図の一例を図８に示す。

３.２　制御部

３.２.１　構成

本システムの制御は，安全性，汎用性，仕様変更
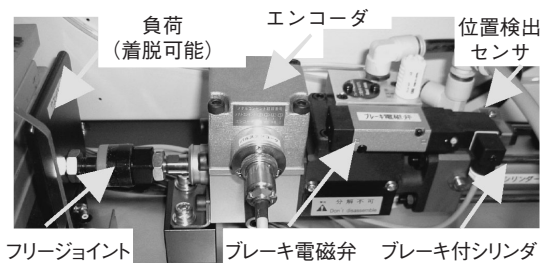
図３　ブレーキ付シリンダ

図４　電磁弁
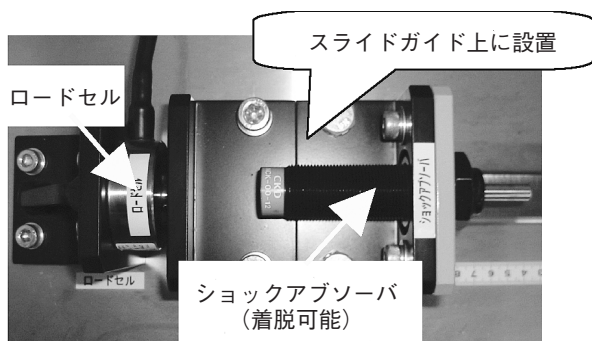
図５　ショックアブソーバとロードセル
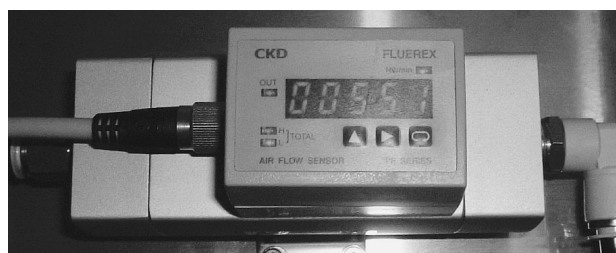
図６　流量計
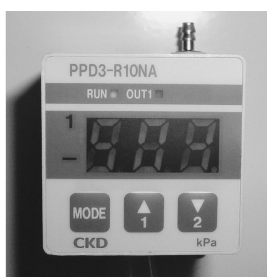
図７　圧力計
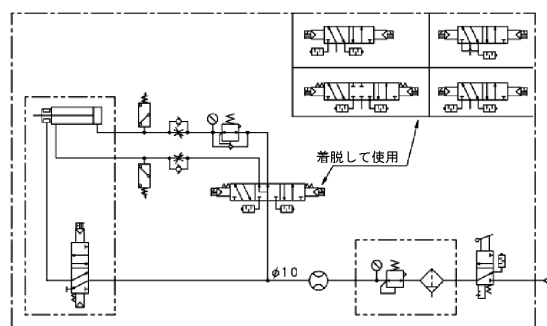
図８　空気圧回路図（例）

への柔軟性，入力および視覚表示の容易性等を考慮して，PLC（プログラマブルロジックコントローラ）とパソコンで構成している。本制御部のブロック図を図９に示す。

PLCを採用することで，位置検出センサ等のデジタル信号，ロードセルや流量計等のアナログ信号，ストローク計測用のエンコーダ信号等の高速パルス信号の入力や，電磁弁等を操作する出力信号，パソコンとの通信等幅広い入出力に対応することができる[13]。また，計測したデータを処理するために，取得されたデータはEthernetを介してパソコンに転送され，データ収集ソフトにより自動保存される。
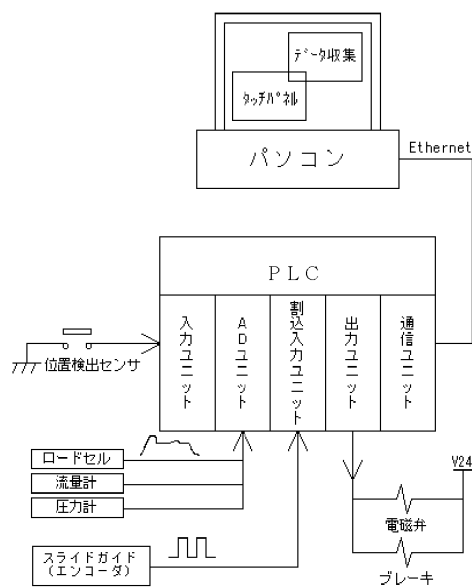
図９　制御ブロック図

3.2.2　タッチパネルの機能

タッチパネルは，データ処理にパソコンを使用することから，パソコンの画面上でタッチパネルの機

能を実現することができるソフトウェア（三菱電機㈱製：GOT1000，GT Designer2）を採用した。このソフトウェアは，パソコンのディスプレイ上に，1つのウィンドウとしてタッチパネル画面を表示することができるため，開発ツールで画面データを作成・修正しながら操作が可能，他のアプリケーション（データ収集ソフト）を実行しながら計測が可能，マウスおよびキーボードから直接入力が可能，Ethernet通信により特別な配線が不要，等のメリットがある[14)～16)]。

3.2.3　パソコンとデータ収集ソフト

計測した流量，圧力，ロードセル信号およびシリンダ位置等のデータ収集ならびに保存には，PLCのデータ収集用に開発されたパソコンソフトウェアパッケージ（三菱電機メカトロニクスソフトウェア㈱製：MP1－DAQ－5－K）を採用した。

このソフトウェアを採用することで，パソコン側でのソフトウェア作成の必要なしに，データ収集のトリガとなる信号の監視，PLCに記録された収集データの転送，パソコン画面上でのデータ収集状況のモニタリングおよび収集したデータの自動保存が可能となった。収集したデータは，ファイル名にデータを収集した日時を付加して保存されるため[17)]，パソコン上で表計算ソフトウェアを使用し，計測データの確認やグラフ化，異なるデータを同時表示させての可視化等，計測装置単体では実現できないデータの比較・検証を容易に行うことができる。

3.2.4　計測手順

タッチパネルの初期画面（後述図16参照）において，計測目的のメニューを選択する。各画面上（後述図11，図12，図13参照）のスタートまたはシリンダ前進をクリックすることにより，目的の圧力や位置等のデータが数値や波形等で表示できる。計測が終了すると，データが自動でPLCからパソコンに転送され，データ収集ソフトがこれをCSVファイル形式でハードディスクに保存する。他の計測を実行する場合は，初期画面に戻り，計測目的のメニューを選択する。計測フローチャート（一部）を図10に示す。
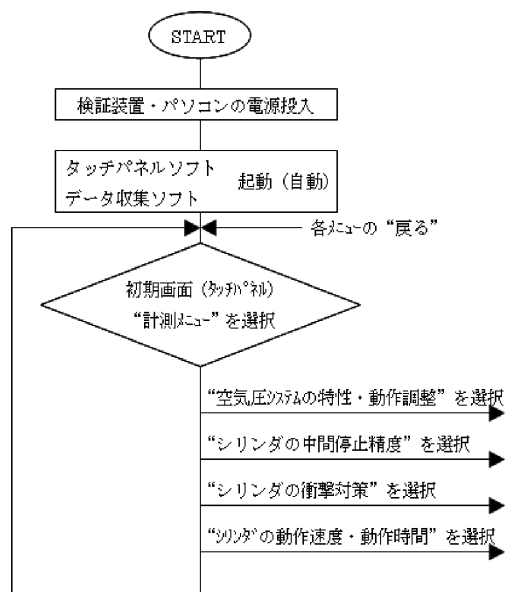
図10　計測フローチャート（一部）

PLCに保存された計測データは，過去にさかのぼって10計測分を表示させることができる（但し，重複表示は不可）。また，波形を拡大して表示することもできる。さらに，計測で使用された空気消費量を積算し，料金として表示（初期画面）することもできる。

4．計測結果

本システムは，シリンダ動作速度，負荷率，圧力設定等を多様に変更しながら，シリンダ内の状況および動作結果をパソコン画面にて，視覚的に表示（数値・波形等）することができる。

シミュレーションソフトウェア（CKD㈱製：空気圧システム設計プログラム）によるシリンダ動作時間の予測結果の例を図14に，計測結果（計測条件含）の例を図11，図12，図13，図15，図16に示す。

4.1　シリンダの中間停止精度

＜条件＞

・シリンダ動作速度：305±5 mm/sec
・圧力：500±10 kPa
・負荷：195±5 N
・停止指令位置：ストローク150±0.4 mm
・電磁弁：3位置（オールポートブロック）
・ブレーキ機能：未使用
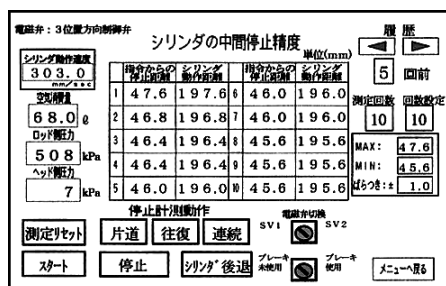
図11　計測結果（シリンダの中間停止精度）

＜条件＞

・シリンダ動作速度：305± 5 mm/sec
・圧力：500±10 kPa
・負荷：195± 5 N
・停止指令位置：ストローク150±0.4 mm
・電磁弁：３位置（PAB接続）
・ブレーキ機能：使用
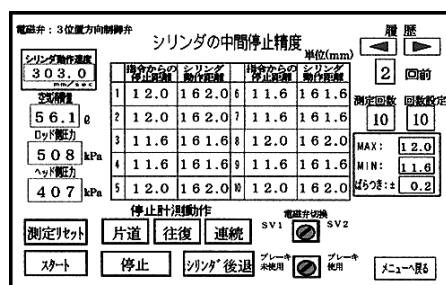
図12　計測結果（シリンダの中間停止精度）

4.2　シリンダの衝撃対策

＜条件＞

・シリンダ動作速度：505± 5 mm/sec
・圧力：500±10 kPa
・負荷：195± 5 N
・電磁弁：３位置（オールポートブロック）
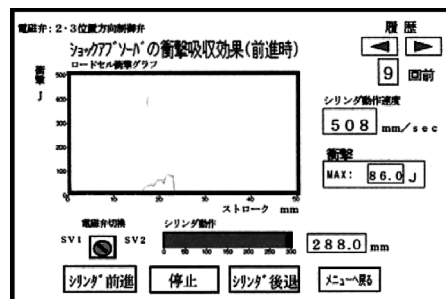
図13　計測結果（ショックアブソーバの効果）

4.3　シリンダの動作速度・動作時間

＜条件＞

・合成有効断面積：5.64 mm^2
・圧力：500±10 kPa
・負荷：195± 5 N

上記条件でのシリンダの動作時間をシミュレーションソフトウェアで予測し，本システムで検証をした。

その結果，シミュレーションソフトウェアによるシリンダ動作時間（予測）と本システムによるシリンダ動作時間（実測）が，0.44sec（440msec）で一致した。

～シミュレーションソフトウェアによる動作予測～
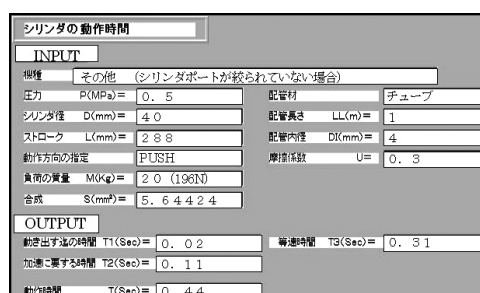
図14　シリンダ動作時間の予測結果

～本システムによる動作結果～
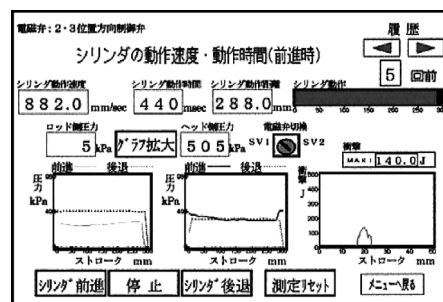
図15　シリンダ動作時間等の計測結果

4.4　エアコスト

計測データをもとに，空気消費量を積算し，料金として表示（初期画面）できる。
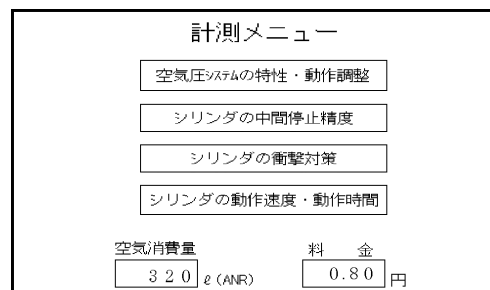
図16　計測結果（エアコスト）

５．開発効果

これまで，応用的内容については板書，自作教材および市販書籍で説明をしてきた。しかし，「数式」や「文章」はもとより「絵」・「図」・「動画」による方法のみでは，専門課程の学生や離職者訓練の訓練生に強い関心や興味を持たせることに限界を感じていた。

2006年度より専門課程や離職者訓練において本システムを活用しているが，生産現場でのさまざまな現象が，検証装置の動作とともに視覚表示（数値・波形等）できるようになり，実学一体で教育を進めることができるようなった。視覚表示という“可視化”により，空気圧システムを設計・運用するに当たり，必要となる応用的な知識および技能（安全衛生含）を理論と計測値を比較・検証しながら，効率的に教育することができるようになった。本システムにより確立された教育サイクルを図17に示す。

また，計測結果をパソコン画面にて，“可視化”できるため，プロジェクタにより，大画面化でき，大人数でも情報の共有化が容易になった。

本システムを専門課程の講義（対象者：2006年度においては機械システム系２年56名，2007年度においては機械システム系２年50名）で活用した後に，感想の記述を依頼した。

感想の一部を次に列記する。

１）指示された条件でシリンダを動作させてみると，中間停止精度のバラツキが大きかったり，バウンド現象が発生したりという問題がでました。

　しかし，回路変更をするだけで，その問題が解決でき，驚きました。いろいろな条件での停止精度を計測することができたので，今後，設計や改善をする際の参考にします。

２）シリンダを高速動作させた際の衝撃には，驚きました。また，条件にマッチしたショックアブソーバを選定することにより，衝撃を緩和できることが，動作だけでなく，波形で確認できたので，とてもわかりやすい講義でした。

３）空気圧システムの設計手法を参考に，シリンダの動作速度や動作時間を予測するだけでなく，検証装置により確認ができたので，とてもわかりやすい講義でした。予測が的中したときは，とてもうれしかったです。

４）空気圧システムの設計手法による計算だけでなく，パソコンを活用したシリンダ動作状況のシミユレーション（予測）により，動作状況を決める要因がわかりました。また，検証装置により確認ができたので，とてもわかりやすい講義でした。

５）シリンダ内の圧力や流量の変動する状況が，数値や波形で見ることができ，シリンダ動作中のどの位置で，最高推力になるのかが，わかりました。

６）空気圧エネルギの値段は，“タダ”という感覚をもっていたため，無駄な動作を繰り返し，ほかの人と比べて，エアコストの金額が高かった。これからは，無駄な動作をしないように注意します。

７）特に印象に残っているのは，安易なトラブル対策をして，エアコストが高くなったということです。エア漏れのために，シリンダ動作速度や推力が低下したというトラブルの対策として，空気圧力を高くすると，トラブルは解決できましたが，逆にエアコストが高くなりました。計算によりそのようになることはわかっていましたが，とても印象に残りました。ですから，エア漏れのために，シリンダ動作速度や推力が低下した場合は，安易に空気圧力を高くするのではなく，“エア漏れの原因究明と対策（省エネルギにもつながる）”を検討していきます。

８）シリンダの飛出現象には，驚きました。けがをしないように，機械を壊さないように注意して取り扱うようにします。

　また，シリンダ内の状況を数値や波形で見ることができ，飛出現象の理由がわかりました。

９）いろいろな条件でのシリンダの動作結果を数値や波形で見ることができたので，空気圧システムを改善する際のポイントや保全作業をする際のポイント（安全に注意するも含）が理解しやすかったです。講義時間が短く感じられました。

10）チューブ内径や長さを変えることによって，シリンダ内の圧力変動や流量変動および動作時間が

変化することを数値や波形で確認することができたので，とてもわかりやすい講義でした。

11）チューブ内径や長さを変えることによって，シリンダの中間停止精度が変化する理由を数値や波形で確認することができたので，とてもわかりやすい講義でした。

12）設計的内容は，これまでどの講義においても座学中心だったと思います。しかし，この講義は検証もできたので，とてもプラスになる内容でした。

検証装置の動作結果から，座学だけではわからない現場にマッチしたシステム構築（省エネルギ・安全含）をする際に必要となるノウハウの一部を理解できたように思います。

また，過去のシリンダの動作結果を画面のクリックだけで見ることができるので，動作結果の比較がしやすかったです。

この実験で習得した知識やシリンダの調整方法等を，社会に出て生かしていきます。

13）シリンダ動作の調整を数値や波形で確認しながら進めることができたので，スムーズに実験を行うことができました。

上記の感想等により，本システムは，教育サイクルの各シーンで，効果を発揮するトレーニングシステムであるといえる。
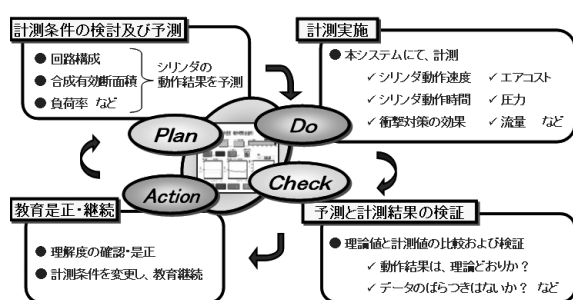
図17　教育サイクル

6．おわりに

今後も各企業の生産にかかわる自動化・省力化等の課題を解決する手段として，空気圧システムが更に有効利用される可能性は高い。開発したシステムが活用されるようになり，空気圧技術の応用的な知識および技能（安全衛生含）が広まり，産業界の課題解決に貢献することを願っている。

本文は，職業能力開発報文誌　第19巻第２号（2007年９月発行）に掲載された原稿に，加筆を加えたものである。

＜謝　辞＞

本システムの開発に当たり，CKD株式会社，東海空圧機器株式会社，株式会社バイナス，ファステム株式会社の関係各位にご支援とご助言を賜りました。深く感謝申し上げます。

＜参考文献＞

１）（社）日本フルードパワー工業会：「平成16年度・19年度空気圧機器需要予測作業報告書」

２）中西康二：「絵とき空気圧技術実務マニュアル」，オーム社，1990

３）SMC株式会社：取扱説明書「トレーニングキット」

４）SMC株式会社：取扱説明書「空気圧回路実習装置」

５）株式会社コガネイホームページ：空気圧学習教材シリーズ
http://ww1.koganei.co.jp/jp/shop/goods/series.aspx?category=K010010000

６）太陽鉄工株式会社ホームページ：空気圧・電気シーケンス回路トレーニングセット（可搬式）
http://www.taiyo-ltd.co.jp/mmaga/index_training_set.html

７）CKD株式会社：取扱説明書「セルコンシリンダJCC3，JCC－Ｈ第２版」

８）CKD株式会社：カタログ「空圧シリンダ総合Ⅱ第５版」

９）CKD株式会社：カタログ「空圧バルブ総合第５版」

10）CKD株式会社：カタログ「空圧・真空・補助機器総合第５版」

11）ミネベア株式会社：取扱説明書「動ひずみ測定器」

12）ミネベア株式会社：取扱説明書「小型ロードセル用」

13）三菱電機株式会社：取扱説明書「QCPUユーザーズマニュアル機能解説・プログラム基礎編」

14）三菱電機株式会社：取扱説明書「GOT1000シリーズ接続マニュアル」

15）三菱電機株式会社：取扱説明書「GT Designer2基本操作・データ転送マニュアル」

16）三菱電機株式会社：取扱説明書「GT Designer2画面設計マニュアル」

17）三菱電機メカトロニクスソフトウエア株式会社：取扱説明書「DAQユーザーズマニュアル」